

4 Aplicação ao Projeto de Expansão de uma Mina

4.1. Introdução

O Brasil possui a quarta maior reserva de minério de ferro no mundo, mas a elevada qualidade do mineral encontrado no país permite que sua produção seja a maior entre todos os outros produtores. O aumento da demanda de aço, atrelado ao crescimento da economia mundial, tem acarretado no aumento no preço do minério de ferro nos últimos anos e com isso novos projetos de extração têm surgido em diversos países.

O incremento da produção para os próximos anos pode tanto ser constituído por exploração de reservas virgens, até então inexploradas, chamados também de projetos *greenfield*, como também pela expansão de minas existentes.

Neste capítulo analisaremos o valor da flexibilidade que os investidores possuem em expandir a capacidade de suas minas de minério de ferro, tendo em vista o fato de que a decisão só poderá ser feita daqui a três anos. Como os modelos de Fluxo de Caixa Descontado não conseguem identificar o valor desta flexibilidade de maneira eficiente, utilizaremos a Teoria das Opções Reais para a modelagem.

4.2. Premissas

A mina hipotética em operação possui atualmente capacidade de produzir 10 milhões de toneladas de minério de ferro por ano (mtpa). As reservas de minério de ferro estão localizadas no sudeste do país, com parte da infraestrutura necessária disponível, como rodovias, ferrovias e portos, operando em capacidade máxima. Estudos geológicos feitos mais recentemente comprovaram que o tamanho das reservas minerais da empresa é de aproximadamente 200 milhões de toneladas, o que representa 20 anos de vida útil da mina até a exaustão dos recursos, porém há expectativas de que o

tamanho das reservas possa dobrar caso sejam adquiridos direitos minerários em torno da mina.

A mineradora possui projeto para aumentar sua capacidade de produção de 10mtpa para 20mtpa, no entanto a decisão de expansão só poderá ocorrer em um prazo mínimo de três anos devido às condições legais e técnicas. Assim, compõem os ativos da mineradora uma mina em operação e uma opção de dobrar a capacidade de produção através de um projeto de expansão.

As premissas aqui utilizadas seguem valores médios utilizados pelo mercado e divulgadas em relatórios de investimento de algumas mineradoras. O intuito da utilização destas premissas é construirmos o fluxo de caixa de um projeto de mineração para aplicarmos a Teoria das Opções Reais.

Consideramos também que os custos de produção serão mantidos constantes ao longo da vida útil do projeto, assim como a capacidade de produção da mina, assumindo uma eficiência de operação constante ao longo do tempo.

A tabela abaixo apresenta as principais premissas adotadas para este projeto:

Premissas	Valores
Capacidade de Produção	10,0 Mt/ano
Preço do Minério no ano 0	US\$ 47,960/t
Despesas Logísticas	US\$ 23,00/t
Royalties (CFEM)	2%
Custos de Produção	US\$ 8,00/t
Despesas Gerais e Administrativas	US\$ 0,30/t
Depreciação	US\$ 15,00/t (20 anos)
IR	34%
Investimento Corrente	US\$ 1,00/t.ano
Taxa Livre de Risco no Brasil em US\$	4,0% a.a.
Custo do Capital no Brasil em US\$	11,0% a.a.
Vida Útil do Projeto	20 anos

Tabela 2 – Premissas adotadas para avaliação do projeto de mineração

4.2.1. Reservas Minerais

As reservas minerais definem a capacidade de produção de uma mina e sua vida útil. As empresas de mineração normalmente dimensionam a capacidade de produção de sua mina em função dos volumes de reservas nela existentes de forma a alongar a vida útil da mina e diminuir os investimentos necessários para atender a capacidade de mineração, beneficiamento e transporte dos minerais.

A mina hipotética será de tamanho médio, pois terá um total de reservas minerais na ordem de 200 milhões de toneladas de minério de ferro. Com este volume de produto e a capacidade de produção de 10,0 milhões de toneladas por ano (mtpa) a mina tem uma vida útil de aproximadamente 20 anos até a exaustão de suas reservas.

Em torno da região existe um potencial de reservas de um adicional de 200 milhões de toneladas de produto, o que permite que a mineradora adquira novas áreas de exploração e aumente a capacidade de produção. A expectativa de existência de produto nestas novas áreas só será confirmada com a condução de novas pesquisas geológicas no local, as quais poderão estimar o tamanho dos recursos. As pesquisas poderão ser conduzidas ao longo dos próximos anos em paralelo com o avanço da lavra.

4.2.2. Investimentos

Atualmente a mina já possui a infraestrutura necessária para produzir e escoar toda sua capacidade de produção como planta de mineração e beneficiamento, terminais de carregamento e descarregamento, acesso logístico através da rede ferroviária e um terminal portuário.

Entretanto, para elevar a capacidade de produção serão necessários outros investimentos na expansão do acesso logístico, assim como na planta de mineração e beneficiamento. Espera-se que em cinco anos um novo terminal portuário entre em operação, permitindo o embarque marítimo de um volume adicional de produto, assim como a disponibilidade de novos equipamentos rodantes da ferrovia.

Os investimentos estimados para uma possível expansão podem ser comparados com os valores gastos em recentes projetos de mineração no mundo, incluindo investimentos em estrutura logística, conforme figura a seguir:

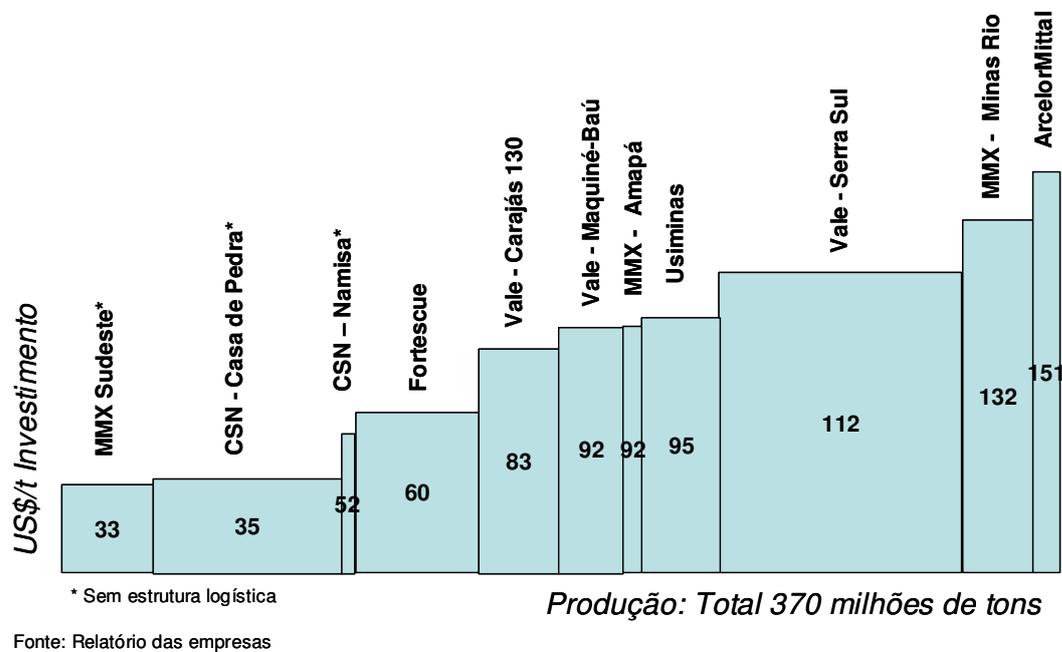


Figura 9 – Investimento de Recentes Projetos de Minério de Ferro

Para atender a expansão da capacidade de produção da mina serão necessários, somente para estrutura de mina e beneficiamento, investimentos na ordem de US\$ 300 milhões, ou US\$ 30,00/t. Este valor está compatível com investimento em minas de mesma capacidade, porém bem inferior aos investimentos que incluem logística. Estes recursos se destinarão às operações de mineração e planta de beneficiamento do minério e devem ser desembolsados ao longo de um ano. Não haverá necessidade de investimentos em estrutura logística devido a condição destes serviços, na hipótese em questão, serem fornecidos por terceiros, os quais farão os investimentos necessário para garantir a operação.

Adicionalmente, projetos de mineração também necessitam de investimentos ao longo de sua vida útil para manter suas operações. Estes investimentos são considerados investimentos correntes, ou *sustaining capital expenses*, e são estimados em US\$1,00 por tonelada de minério produzido.

4.2.3. Custo e Despesas

Os custos de produção, que compreendem principalmente os custos com pessoal, combustível, manutenção de equipamentos e serviços foram definidos em US\$ 8,00/t, ou seja, US\$ 80 milhões por ano. Estes custos estão baseados na capacidade média de produção de 10mtpa, sendo que a produção estará em operação ao longo das 8.760 horas por ano.

Despesas logísticas, que incluem principalmente transporte ferroviário e operações portuárias, são estimadas em US\$15/t e US\$8/t, respectivamente. Estas despesas estão relacionadas principalmente ao custo de combustível do transporte e ao custo de capital das estruturas, como rede ferroviária e porto, prestado por terceiros.

Os custos *benchmark* de produção de minério de ferro, considerando entrega FOB no porto de origem, variam entre aproximadamente US\$19/t a US\$60/t de produto seco, que representa algo em torno de US\$17/t a US\$55/t de produto natural considerando 8% de umidade.

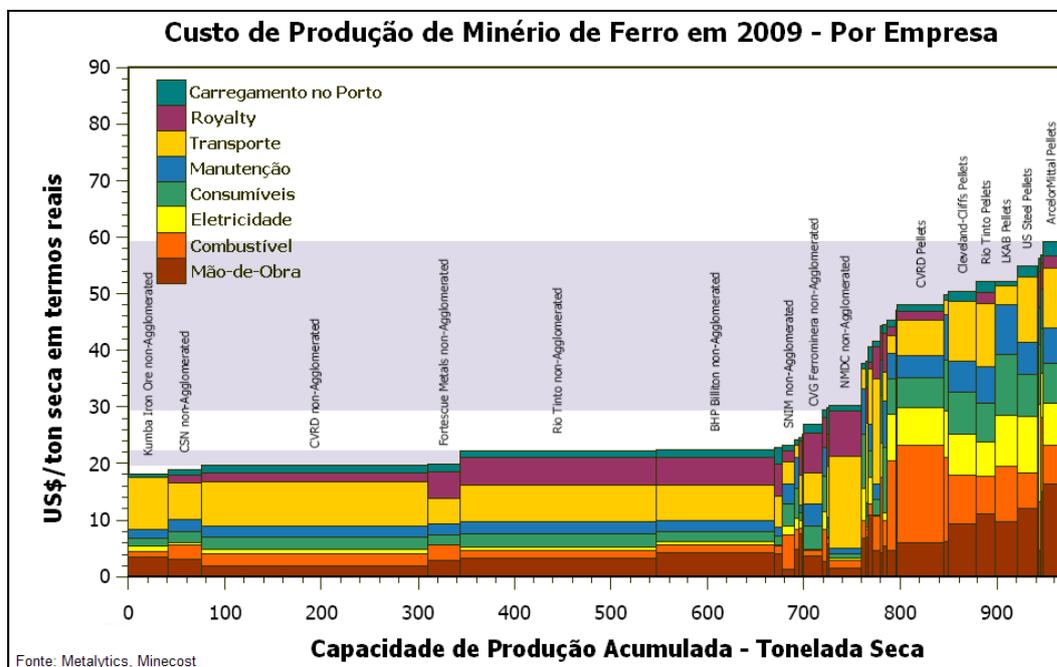


Figura 10 – Referências de custo de produção e transporte até porto de embarque de diferentes projetos de minério de ferro

Além das despesas mencionadas acima existem também as despesas comerciais, administrativas e gerais, as quais não estão atreladas à operação. Estas despesas foram estimadas em US\$0,3/t ao ano, que representa US\$3 milhões por ano. Caso o tamanho das operações aumente estas despesas deverão aumentar proporcionalmente.

4.2.4. Preço do Minério de Ferro

Conforme mencionado no item 3.2, o mercado de minério de ferro está em forte expansão e o mercado prevê que haverá um aumento do preço para os próximos anos, até que a oferta do mineral se estabilize.

Por não se tratar de uma *commodity*, pois este minério não é comercializado na bolsa de futuros e seu preço é negociado anualmente para cada contrato de fornecimento, o mercado tem como referência de preço os praticados pela Vale – a maior produtora de minério de ferro no mundo. Os preços da Vale são *benchmark* do mercado devido ao maior volume comercializado e a elevada qualidade. A maioria das outras mineradoras se baseia na variação do preço de referência para reajustar os preços de seus contratos de longo prazo.

Na formação de preço de cada contrato é levado em consideração diferenciais de frete de origem e destino em relação ao preço *benchmark*. Além disso, é descontado o teor de ferro de cada produto e o percentual de umidade aferido.

Preço Referência	81,46	US¢/dm tu
Teor de Ferro	64%	
Umidade	8%	
Preço do Produto	47,96	US\$/t

Tabela 3 – Método de precificação do minério de ferro

Na análise do projeto em questão levaremos em consideração a variação de preço esperada pelo mercado, conforme relatório do Banco Credit Suisse sobre o setor. Na formação do preço será considerado teor de ferro e percentual de umidade semelhante ao de produtos da mesma região, e que toda a produção será exportada, ou seja, com preço base o do mercado externo. Portanto, os preços esperados do minério de ferro para cada ano do projeto serão:

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Preço (US\$/t)	47,96	79,14	92,65	94,91	92,60	90,34	66,10	51,59	41,27	41,27	41,27
Varição real		65%	17%	2%	-2%	-2%	-27%	-22%	-20%	0%	0%

Ano		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Preço (US\$/t)		41,27	41,27	41,27	41,27	41,27	41,27	41,27	41,27	41,27	41,27
Varição real		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabela 4 – Valores esperados do preço do minério de ferro para cada ano do projeto

4.2.5. Custo de Capital

O custo de capital em um projeto de mineração, seguindo o modelo CAPM – Equação (2.2), leva em consideração o risco de mercado. Abaixo apresentamos como foi obtido o custo de capital para este projeto.

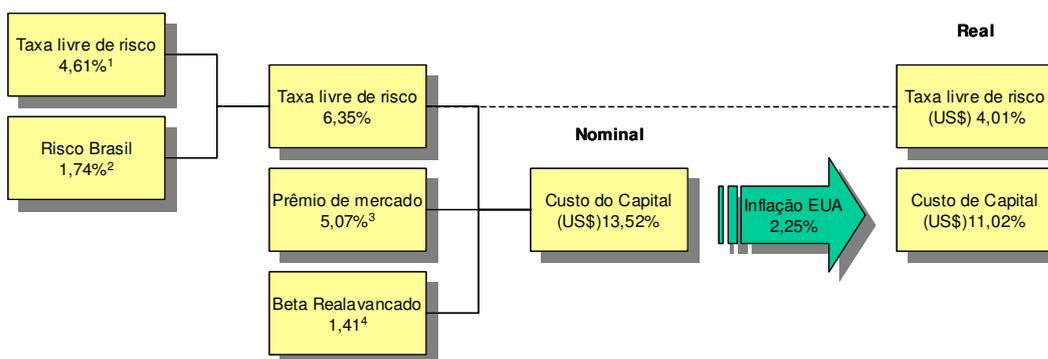


Figura 11 – Obtenção do Custo de Capital*

1 Juros do título de 30 anos do Governo Americano em 29 de julho de 2008 (Fonte: Bloomberg);

2 Spread entre o título de 30 anos do Governo Americano e o título do Governo Brasileiro com vencimento em 2027 em 29 de julho de 2008 (Fonte: Bloomberg);

3 Prêmio de Risco de Mercado das Ações baseado no retorno de longo-prazo do mercado acionário dos EUA de 1926 a 2007 (Fonte: Relatório Ibbotson 2008);

4 Média do beta de 2 anos desalavancado de empresas comparáveis realavancada pela estrutura de capital média de mineração. Mais detalhes em anexo à este documento.

Taxa Livre de Risco		Custo do Capital	
Taxa de juros de longo prazo dos EUA	4,61%	Prêmio de Risco do Mercado de Ações	5,07%
(+) Risco Brasil	1,74%	(x) Beta	1,41
(=) Taxa Livre de Risco nominal	6,35%	(=) Prêmio de Risco do Mercado	7,17%
(÷) Inflação projetada dos EUA	2,25%	(+) Taxa Livre de Risco	6,35%
(=) Taxa Livre de Risco real	4,01%	(=) Custo do Capital Próprio nominal	13,52%
		(÷) Inflação projetada dos EUA	2,25%
		(=) Custo do Capital Próprio real	11,02%

A taxa livre de risco em dólares para investimentos no Brasil considera a diferença da captação do Brasil Global'27 no mercado externo. O valor do spread entre o título da dívida do Governo Brasileiro e o título de longo prazo do Governo Norte Americano representa o prêmio que o investidor demanda para assumir o risco de crédito do país, esta taxa também é conhecida como risco país.

Para efeito desta avaliação de FCD não consideraremos custo de capital de terceiros na composição do CPMC e, desta forma, utilizaremos a taxa de desconto real como 11%^{aa}. A taxa livre de risco real será a taxa livre de risco dos EUA, adicionada ao risco país (Brasil) e descontada a inflação dos EUA, resultando no valor aproximado de 4%^{aa}.

4.3. Modelagem Financeira do Projeto

Com base nos principais parâmetros definidos anteriormente, foi montado o fluxo de caixa em moeda constante para a análise do projeto em questão:

<u>Itens</u>	<u>Definições</u>
Produção Anual	10 milhões de toneladas
(=) Receita Bruta	Preço de venda FOB X Produção anual
(-) Impostos sobre Venda	Não há (não incide imposto sobre venda no caso de exportações)
(-) Despesas Logísticas	US\$ 23,00/t x Venda anual
(=) Receita Líquida	Receita Bruta – Despesas Logísticas
(-) CFEM + Royalties	2% sobre Receita Líquida
(-) Custos de Produção	US\$ 8,00/t
(-) Despesas Gerais e Adm.	US\$0,30/t
(-) Depreciação e Amortização	US\$15,00/t
(=) LAJIR	Base de cálculo do importo de renda

(-) Imposto de Renda e Contribuição Social	34%
(+) Depreciação	US\$15,00/t
(-) Investimentos Correntes	US\$1,00/t
(=) Fluxo de Caixa Livre	Caixa Disponível ao Acionista

Tabela 5 – Modelo de fluxo de caixa

Desta forma, podemos expressar o modelo de fluxo de caixa como:

$$FC_t = PR_t \left(((P_t - DL) \cdot (1 - RS) - CP - DG - DA) \cdot (1 - T) + DA - I \right)$$

onde,

FC_t : Fluxo de caixa no período t

PR_t : Produção no período t

P_t : Preço no período t

DL : Despesas Logísticas

RS : Royalties (CFEM)

CP : Custo de Produção

DG : Despesas Gerais e Administrativas

DA : Depreciação e Amortização

T : Imposto de Renda e Contribuição Social

I : Investimento Corrente

Trabalharemos com o FCD em moeda constante, valores reais, sem projetar o impacto da inflação nas receitas e despesas.

4.4. Flexibilidade do Projeto

Projetos na área de extração mineral demandam largas somas de investimentos para serem implantados, ao longo de um a dois anos, e requerem um longo prazo para gerar retorno aos investidores. De modo similar a outras indústrias de capital intensivo, como projetos de energia elétrica, na mineração é possível que contratos de longo prazo de fornecimento de minério sejam celebrados para viabilizar novos projetos, porém os reajustes de preços estarão sujeitos à variação do mercado. Os investimentos nestes projetos podem ocorrer a qualquer momento, permitindo que a empresa tenha sempre uma opção de longo prazo de investir.

Também fazem parte do controle da empresa as decisões de interromper as operações, expandir a capacidade, transferir as operações para outro *site* e outras. Minas menos competitivas podem ter suas operações interrompidas aguardando que o preço do mineral volte a patamares mais atrativos ou que se tome a decisão definitiva de se desfazer dos ativos.

Exploraremos a possibilidade de expansão da capacidade de um projeto de mineração, uma opção que pode ser facilmente planejada pela empresa.

4.4.1. Opção de Expandir

Conforme verificado no item 3.3, a exploração extrativista de minerais depende de concessões do governo, licenças ambientais e direito de acesso às áreas de exploração. Por sua vez é necessário que se tenha realizado estudos prévios para identificação de recursos minerais que viabilizem sua exploração econômica.

Além das condições acima, a possibilidade de expansão da produção de estará sujeita a diversas outras restrições como a capacidade de escoamento do produto até o cliente final, que envolve a disponibilidade de infraestrutura logística.

Ao considerar que a empresa possui ou tem capacidade de obter todos os direitos minerais e licenças ambientais para desenvolver o projeto, assim como poder investir para desenvolver o acesso logístico para o escoamento de seus

produtos, a decisão de expandir a capacidade de produção passa a estar restrita exclusivamente aos gestores do projeto.

Por sua vez, há diversas incertezas inerentes a decisão de expandir o projeto, dentre elas a incerteza do tamanho das reservas de minério, dos valores de investimento, dos custos de produção, da variação cambial e do comportamento do preço do minério ao longo da vida útil do projeto.

Incertezas como valores de investimento, custo de produção e variação cambial podem ser facilmente eliminadas através de ferramentas financeiras como *hedges* e seguros. A dúvida quanto ao tamanho das reservas de minério, que determinarão a capacidade e a vida útil do projeto, pode ser reduzida com a condução de estudos geológicos mais elaborados seguindo normas internacionais mais rígidas de medição, com maiores áreas pesquisadas e com estudos confirmados por pareceres de auditores independentes.

Resta a mais significativa e única incerteza não gerenciável do projeto, que é o preço do minério no médio e longo prazo. Uma vez que o comportamento do preço do minério de ferro está associado ao PIB mundial, como visto no item 3.2, a projeção do preço no médio e longo prazo pode sofrer altos níveis de erro. Por não ser uma *commodity*, não existe operação de *hedge* do preço do minério de ferro no mercado financeiro, permanecendo o retorno do projeto suscetível exclusivamente à variação do preço do minério.

Portanto, a opção de expandir a capacidade de uma mina estará sujeita unicamente ao preço do mineral no mercado internacional.

No estudo de caso, o projeto de mineração possui opção de ter sua capacidade expandida a partir do quinto ano do projeto. A decisão de expandir precisa ser tomada dois anos antes do efetivo aumento de capacidade, no fim do terceiro ano, para que a empresa possa adquirir todos os equipamentos e preparar a infraestrutura necessária para o início da operação e transporte do minério. Esta opção de expansão poderia ter um vencimento indeterminado, porém foi considerado que os direitos minerais estarão disponíveis num prazo máximo de três anos e que depois estes poderão ser oferecidos a outras empresas. A empresa detém uma preferência de compra destes direitos e, caso opte pela aquisição, o pagamento será feito ao longo da extração dos recursos, através de royalties sobre os direitos minerários, calculado na mesma base da CFEM. Esta condição foi planejada para que a mineradora não precise modelar

a incerteza sobre as reservas de minério, podendo avaliar a opção de expansão em função única e exclusivamente do preço do minério de ferro.

Opção de Expansão

Capacidade Adicional	10mtpa
Investimento	US\$300 milhões
Royalties dos Direitos Minerários	10%
Início do aumento de produção	Ano 5
Vencimento da Opção	Ano 3

Tabela 6 – Opção de expansão da mina

A escolha ótima de expandir ou não a capacidade da mina será dada pelo VPL deste novo investimento. Caso o novo fluxo de caixa da capacidade de produção adicional, trazido a valor presente, for maior do que o investimento necessário para aumentar a capacidade, a decisão ótima será de expandir, caso contrário não deverá ser feita a expansão. O VPL deste novo investimento dependerá exclusivamente do comportamento do preço do minério de ferro para os próximos anos.

4.5. Solução

Para determinar o valor da flexibilidade do projeto de mineração precisamos primeiro modelar as condições atuais do projeto para depois identificarmos o valor adicionado com a opção real, seguindo os passos do modelo de Copeland & Antikarov (2001) descritos no item 2.2.7.

4.5.1. Modelagem Determinística: FCD sem Opção

Considerando inicialmente a capacidade de produção original do projeto de mineração em condições de certeza, ou seja, com uma curva de preço esperado, montamos um cenário básico sem qualquer flexibilidade gerencial.

Utilizando o método tradicional de fluxo de caixa descontado identificamos o VPL do projeto, com uma taxa de desconto de 11%. Desconsiderando os investimentos feitos até então, pois como dito anteriormente o projeto de mineração já se encontra em operação, calculamos um valor do projeto de US\$1.735 milhões.

A vida útil da mina é de aproximadamente 20 anos, e portanto o FCD não considera nenhum valor de continuidade do projeto para o período superior aos 20 anos. A curva de preço por sua vez indica uma variação de preços até o oitavo ano do projeto, onde a partir deste período utilizamos um preço de longo prazo para o minério de ferro.

Ano		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
DRE														
Produção	mtpa	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Preço	US\$/t	79,14	92,65	94,91	92,59	90,33	66,10	51,59	41,27	41,27	41,27	41,27	41,27	41,27
Receita Bruta	US\$ mm	791,4	926,5	949,1	925,9	903,3	661,0	515,9	412,7	412,7	412,7	412,7	412,7	412,7
Despesas Logísticas	US\$ mm	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)
CFEM e Royalties	US\$ mm	(11,2)	(13,9)	(14,4)	(13,9)	(13,5)	(8,6)	(5,7)	(3,7)	(3,7)	(3,7)	(3,7)	(3,7)	(3,7)
Despesas Operacionais	US\$ mm	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)
Despesas Administrativas	US\$ mm	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)
EBITDA	US\$ mm	467,2	599,6	621,7	599,0	576,9	339,4	197,2	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1
Depreciação/Amortização	US\$ mm	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)
EBT	US\$ mm	452,2	584,6	606,7	584,0	561,9	324,4	182,2	81,1	81,1	81,1	81,1	81,1	81,1
IR / CSLL	US\$ mm	(153,7)	(198,8)	(206,3)	(198,6)	(191,0)	(110,3)	(61,9)	(27,6)	(27,6)	(27,6)	(27,6)	(27,6)	(27,6)
Lucro Líquido	US\$ mm	298,4	385,8	400,4	385,5	370,8	214,1	120,2	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5
Fluxo de Caixa														
EBITDA	US\$ mm	467,2	599,6	621,7	599,0	576,9	339,4	197,2	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1	96,1
IR/CS	US\$ mm	(153,7)	(198,8)	(206,3)	(198,6)	(191,0)	(110,3)	(61,9)	(27,6)	(27,6)	(27,6)	(27,6)	(27,6)	(27,6)
Investimentos de Capital	US\$ mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investimentos Corrente	US\$ mm	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)
Fluxo de Caixa do Acionista	US\$ mm	303,4	390,8	405,4	390,5	375,8	219,1	125,2	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5
Ke		11,0%												
VPL (VP₀)	US\$ mm	1.734,9												

Tabela 7 – FCD do projeto de mineração em operação

Nota-se que os investimentos para o início das atividades de mineração já foram feitos, por se tratar de uma mina já em atividade, e que demandam somente investimentos correntes na ordem de US\$1,00/t ao ano para manutenção das operações.

A partir do valor do projeto no cenário básico poderemos identificar a volatilidade do projeto e determinarmos as probabilidades neutra a risco, conforme Copeland e Antikarov (2001), para montarmos um modelo de fluxo de caixa descontado com uma taxa de desconto livre de risco.

4.5.2. Determinação da Volatilidade

Um dos passos importantes da identificação dos riscos do projeto é elaborarmos uma análise estocástica, utilizando como variável de incerteza o preço do minério de ferro ao longo do projeto. Sabemos que o preço deste mineral pode sofrer grandes variações ao longo do tempo e identificaremos os riscos que esta incerteza pode levar ao retorno do projeto.

O crescimento do preço do minério no modelo estocástico será baseado na variação projetada para os próximos oito anos, e após não haverá crescimento dos preços. O desvio padrão da curva foi obtido através da série histórica de preços, Tabela 8, entre os anos de 1981 e 2007.

Ano	Real	Nominal
1981	70,71	28,10
1982	74,13	32,50
1983	62,31	29,00
1984	54,44	26,15
1985	53,00	26,56
1986	50,60	26,26
1987	46,35	24,50
1988	42,89	23,50
1989	46,55	26,56
1990	51,50	30,80
1991	52,75	33,25
1992	48,14	31,62
1993	41,59	28,14
1994	36,55	25,47
1995	37,70	26,95
1996	38,87	28,57
1997	38,16	28,88
1998	38,36	29,69
1999	34,29	26,96
2000	34,44	27,67
2001	34,82	28,92
2002	33,51	28,62
2003	35,77	31,04
2004	41,07	36,45
2005	68,61	62,51
2006	78,98	74,39
2007	83,78	81,46

Fonte: Vale, US Bureau of Labor Statistics

Tabela 8 – Preço de histórico do minério de ferro em US¢/dmu

O desvio padrão calculado para o período de 1981 a 2007 é de 15,9% (real) e 16,3% (nominal). Se considerarmos somente o período de 1981 a 2004 estes valores em moeda constante e nominal caem para 8,3% e 8,9%, respectivamente. Pelo fato do minério de ferro não ser um ativo de mercado, pois não é uma *commodity*, assumiremos que o desvio padrão do ativo σ_p será de 15%.

Como opções associadas a um projeto somente podem ser avaliadas utilizando o princípio da neutralidade ao risco se o valor do projeto variar seguindo um MGB (Copeland e Antikarov, 2003), o preço do minério seguirá então um MGB, porém com *drift* variável, conforme a equação a seguir:

$$dP = \alpha P dt + P \sigma_p dz \quad (4.1)$$

onde:

dP é a variação incremental do preço no intervalo de tempo dt ;

α é a taxa de crescimento do preço no intervalo de tempo dt ;

σ_p é a volatilidade do preço do minério; e

$dz = \varepsilon \sqrt{dt}$, onde $\varepsilon \in N(0,1)$ é um processo de Wiener padrão.

Este processo em tempo discreto, utilizando períodos anuais, nos fornece o preço em cada ano, em função do valor do ano interior:

$$P_{t+1} = P_t + P_t \alpha_t + P_t \sigma_p \varepsilon \quad (4.2)$$

Como a taxa de crescimento do preço do minério não é constante, foi necessário utilizarmos a variável de *drift* α_t conforme Tabela 9, baseando-se nas expectativas de mercado.

Ano	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	a partir de 2016
Período (t)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	a partir de 9
α_t		65%	17%	2%	-2%	-2%	-27%	-22%	-20%	0%

Tabela 9 – *Drift* variável do preço do minério de ferro no processo estocástico

Simulando diversos cenários do modelo estocástico pudemos montar o gráfico abaixo, que descreve as diferentes variações de preço que o ativo pode percorrer ao longo do tempo.

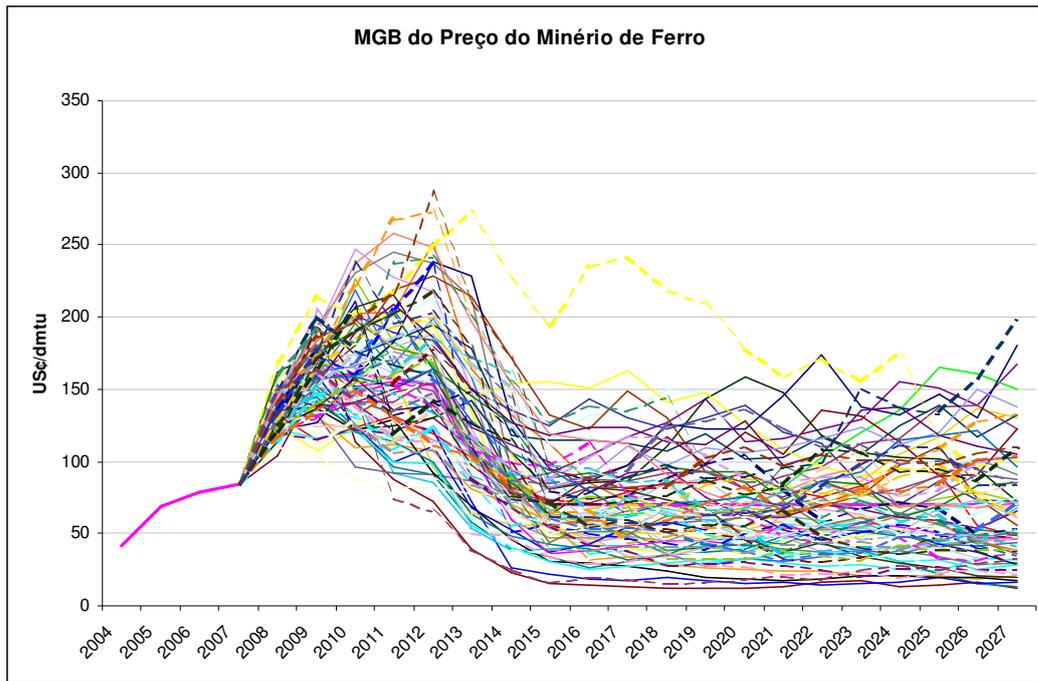


Figura 12 – Comportamento do processo estocástico do preço do minério

Com a modelagem estocástica da única incerteza do projeto já definida, é preciso conhecer a volatilidade do valor do projeto. Fazendo a Simulação de Monte Carlo, utilizando o MGB do preço do minério, obtemos a seguinte distribuição do valor presente do projeto após 10 mil interações:

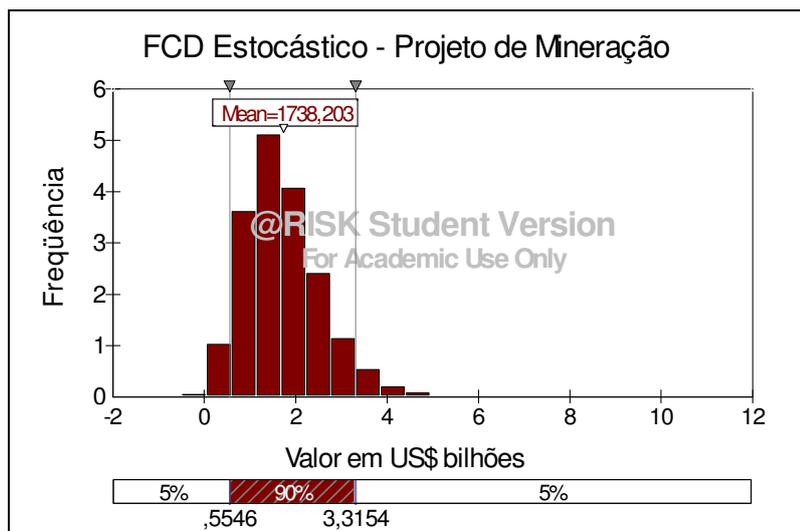


Figura 13 – Valor esperado do projeto

O valor do projeto médio encontrado através do modelo estocástico é bem próximo do valor obtido no modelo determinístico, pois o preço esperado do minério será o mesmo.

Para calcularmos a taxa de retorno anualizada do projeto, em tempo contínuo, e seu desvio padrão, ou volatilidade, precisamos obter a distribuição da seguinte variável:

$$v = \ln\left(\frac{V_1}{\bar{V}_0}\right) \quad (4.3)$$

onde \bar{V}_0 é o valor presente do projeto obtido no cenário determinístico, V_1 é a variável estocástica do valor do projeto daqui a um ano, que incorpora o fluxo de caixa FC_1 do projeto no ano 1. Através da Simulação de Monte Carlo, com um número de interações suficientes, podemos obter o desvio padrão da taxa de retorno v . Realizando 4 simulações foram obtidos os seguintes resultados apresentados abaixo:

Simulação	Volatilidade
1	0,5611
2	0,5545
3	0,5458
4	0,5523

A volatilidade do projeto assumido foi de cerca de $\sigma_v = 0,56$, demonstrando que o projeto possui uma volatilidade superior a volatilidade do preço do minério, que é $\sigma_p = 0,15$.

4.5.3. Risco do Projeto

Segundo Hull (2006), é necessário estimar o preço de mercado do risco de todas as variáveis estocásticas envolvidas. Quando se dispõe de dados históricos da variável, este parâmetro pode ser estimado segundo a equação (2.15), proveniente do CAPM.

Assumindo que a taxa livre de risco é de 4,0%, o prêmio de risco dos fluxos de caixa é dado por $k_e - r = \beta_z (E[R_m] - r) = 7,0\%$, e pela equação (2.15) obtemos:

$$\lambda\sigma_p = 0,07 \frac{0,15}{0,56} = 1,87\%$$

Entretanto, devido ao fato da variável estocástica, o preço do minério, não ser completamente uma variável de mercado, ou seja, uma *commodity*, o seu prêmio de risco calculado pelo CAPM pode não ser válido.

Através do método indireto descrito no item 2.2.6, no qual utilizamos da ferramenta de “Atingir Meta” existente em software de planilhas, obtivemos o valor do prêmio de risco do preço de minério que possa ser utilizado em um FCD sem risco. O valor encontrado foi:

$$\lambda\sigma_p = 1,83\%$$

Os dois métodos resultaram em valores bem próximos, porém o método indireto permite que o valor do projeto calculado no FCD sem risco seja o mesmo do calculado no FCD com risco.

Ano		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
DRE														
Produção	mtpa	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Preço	US\$/t	77,72	89,36	89,90	86,13	82,52	59,30	45,45	35,71	35,07	34,44	31,46	28,74	
Receita Bruta	US\$ mm	777,2	893,6	899,0	861,3	825,2	593,0	454,5	357,1	350,7	344,4	314,6	287,4	
Despesas Logísticas	US\$ mm	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)	(230,0)
CFEM e Royalties	US\$ mm	(10,9)	(13,3)	(13,4)	(12,6)	(11,9)	(7,3)	(4,5)	(2,5)	(2,4)	(2,3)	(1,7)	(1,1)	
Despesas Operacionais	US\$ mm	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)	(80,0)
Despesas Administrativas	US\$ mm	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)	(3,0)
EBITDA	US\$ mm	453,3	567,3	572,6	535,7	500,3	272,7	137,0	41,6	35,3	29,1	(0,1)	(26,7)	
Depreciação/Amortização	US\$ mm	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)	(15,0)
EBT	US\$ mm	438,3	552,3	557,6	520,7	485,3	257,7	122,0	26,6	20,3	14,1	(15,1)	(41,7)	
IR / CSLL	US\$ mm	(149,0)	(187,8)	(189,6)	(177,0)	(165,0)	(87,6)	(41,5)	(9,0)	(6,9)	(4,8)	5,1	14,2	
Lucro Líquido	US\$ mm	289,3	364,5	368,0	343,6	320,3	170,1	80,5	17,5	13,4	9,3	(9,9)	(27,5)	
Fluxo de Caixa														
EBITDA	US\$ mm	453,3	567,3	572,6	535,7	500,3	272,7	137,0	41,6	35,3	29,1	(0,1)	(26,7)	
IR/CS	US\$ mm	(149,0)	(187,8)	(189,6)	(177,0)	(165,0)	(87,6)	(41,5)	(9,0)	(6,9)	(4,8)	5,1	14,2	
Investimentos de Capital	US\$ mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investimentos Corrente	US\$ mm	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)	(10,0)
Fluxo de Caixa do Acionista	US\$ mm	294,3	369,5	373,0	348,6	325,3	175,1	85,5	22,5	18,4	14,3	(4,9)	(22,5)	
Ke		4,0%												
VPL (VP₀)	US\$ mm	1.734,9												

Figura 14 – FCD do projeto de mineração à taxa livre de risco

Ao utilizarmos a modelagem de opções reais no projeto base, vimos que tanto a aplicação do método de Copeland & Antikarov (2001) quanto o de Brandão, Dyer & Hahn (2005) para obtenção da volatilidade do projeto não

puderam ser aplicados para o cálculo do prêmio de risco do preço do minério. Devido à necessidade de trabalharmos com o FCD livre de risco, atendendo a premissa de probabilidade neutra ao risco, utilizamos um método indireto para obtenção deste prêmio de risco, o mesmo utilizado por Freitas & Brandão (2008) para obter o prêmio de risco da demanda de um projeto de *e-learning*. Um dos motivos pelos quais os métodos dos autores Copeland & Antikarov e Brandão, Dyer & Hahn não terem aplicabilidade no projeto analisado deve-se, possivelmente, ao fato do preço do minério de ferro possuir baixa volatilidade, visto que o fluxo de caixa do projeto prevê variações anuais de preço muito superior ao do desvio padrão histórico.

4.5.4. Árvore de Eventos

Com os dados obtidos acima, montamos um modelo de aproximação binomial de árvore de eventos que represente o valor do projeto, utilizando o software DPL®. Copeland e Antikarov (2001) propõem que a modelagem de um projeto seja feita através do valor do ativo, que pode variar de um período para outro em função a distribuição de dividendos. No entanto, este método apresenta o inconveniente de não ser intuitivo por trabalhar com o valor presente do projeto a cada período ao invés do fluxo de caixa.

Propomos neste trabalho modelar o valor do projeto em função dos preços estocásticos do minério e calculando o fluxo de caixa para cada período, utilizando uma árvore de decisão com aproximação binomial, de tal forma que o preço do minério siga um MGB. A vantagem desta modelagem é podermos utilizar softwares de árvores de decisão com aplicação bem mais simples, permitindo a modelagem de opções de flexibilidade diretamente no modelo. Ao contrário de utilizar o valor presente, com o uso do preço estocástico do minério, os fluxos de caixa calculados passarão a representar melhor a relação das premissas do projeto, podendo varia-las ao longo do tempo. Caporal (2006) utiliza fluxos de caixa para modelar uma árvore de decisão binomial e calcular o valor presente de um projeto de geração de energia.

Com base nos princípios da neutralidade ao risco calculamos os seguintes parâmetros da aproximação binomial utilizando a equação 2.11:

$$P = \frac{(1 - \lambda \sigma_p) - d}{u - d} = \frac{(1 - 0,0187) - 0,861}{1,162 - 0,861} = 0,402$$

Sendo,

$$u = e^{\sigma_p} = e^{0,15} = 1,162$$

$$d = 1/u = 0,861$$

A representação do modelo da árvore binomial do projeto é mostrada na Figura 15, onde cada nó possui um valor de incerteza do preço do minério, que por sua vez é a base do valor do fluxo de caixa.

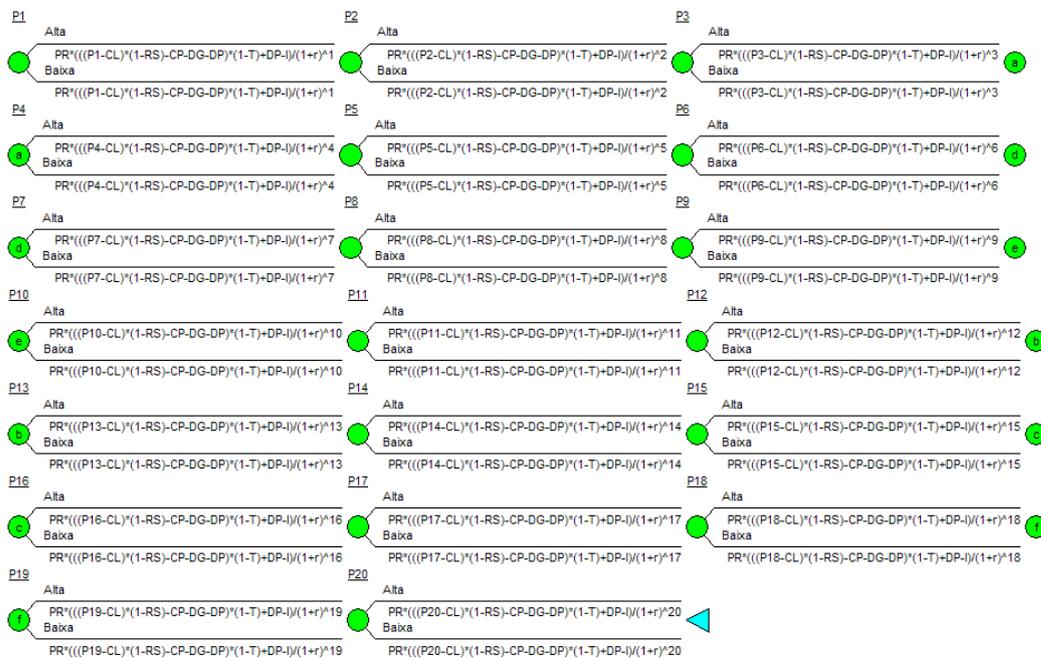


Figura 15 – Modelo da árvore binomial do projeto

Onde,

$$FC_t = PR * (((P_t - CL) * (1 - RS) - CP - DG - DP) * (1 - T) + DP - I) / (1 + r)^t$$

Sendo:

FC_t o fluxo de caixa no período t ;

PR a produção em milhões de toneladas;

P_t o preço do minério no período t ;

CL o custo logístico;

RS a taxa de royalties e CFEM;

CP o custo de produção;

DG as despesas gerais;

DP a depreciação;

T a alíquota de imposto sobre a renda;

I o investimento corrente;

r a taxa livre de risco; e

t o ano de vida do projeto.

O modelo da árvore de eventos representa o processo estocástico do valor do projeto, gerando 2^{20} ramificações. Utilizando-se probabilidades neutras ao risco obtém-se um resultado de US\$1.735 milhões, idêntico ao da planilha com o fluxo de caixa determinístico do projeto.

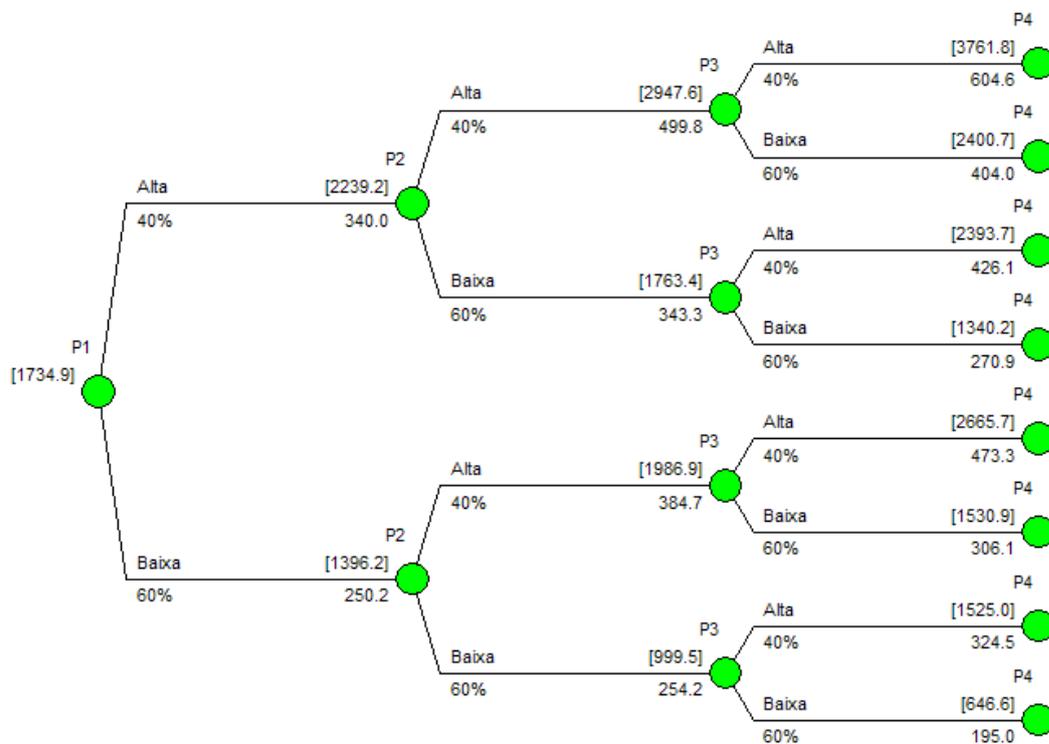


Figura 16 – Árvore de eventos do projeto

4.5.5. Opção de Expansão (Árvore de Decisão)

Conforme comentado anteriormente, a opção de expansão ocorre no fim do ano 3, quando se deve decidir em exercer o direito de aumentar a capacidade de produção do projeto. Caso a decisão seja tomada, investimentos deverão ser feitos ao longo do ano subsequente para que no prazo de um ano – ano 5 do projeto – a capacidade de produção aumente para 20mtpa.



Figura 17 – Opção de expansão da produção

A árvore binomial foi modelada para que no terceiro ano do projeto um “nó” de decisão possa escolher em expandir a capacidade do projeto, incorrendo investimentos, ou não tomar ação e manter o fluxo de caixa original do projeto. Esta escolha dependerá do valor esperado para cada decisão, em função do preço do minério de ferro que representa a incerteza do modelo. Os seguintes resultados foram obtidos:

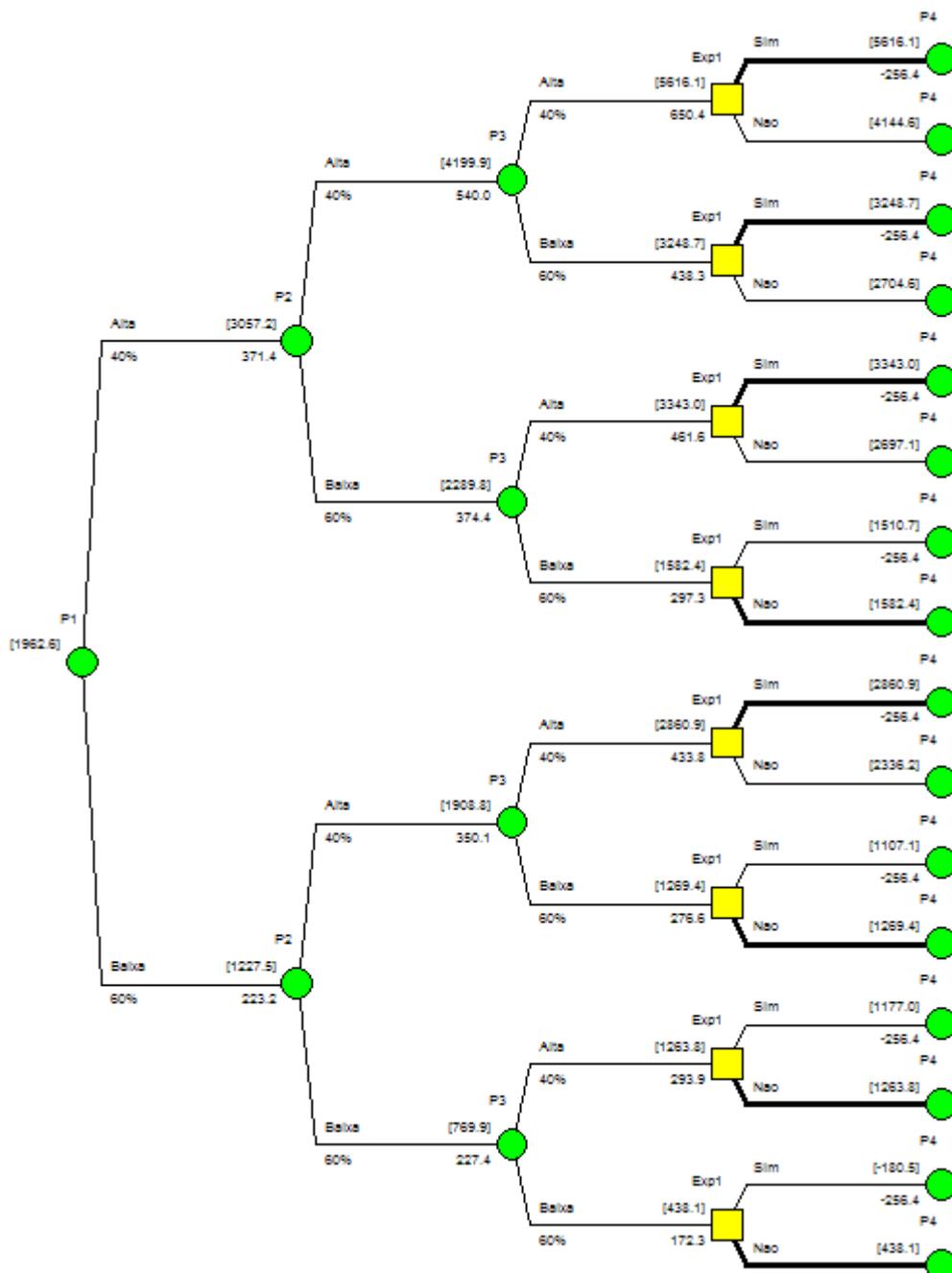


Figura 18 – Árvore de decisão do projeto com opção de expansão

A árvore de decisão mostra que o valor do projeto de mineração aumentaria de US\$1.735 milhões para US\$1.963 milhões. Isso implicaria em um valor de US\$228 milhões para a opção de expandir a capacidade de produção do projeto de mineração.

O resultado obtido com a árvore de decisão considera que decisões ótimas de investimento serão tomadas em cada nó de decisão do modelo. Analisando o aproveitamento da oportunidade de expandir o projeto é de 35% das vezes,

conforme apresentado na Figura 19, pois como a probabilidade do preço cair é de 60% para cada período Figura 18, as decisões de não expandir são mais freqüentes

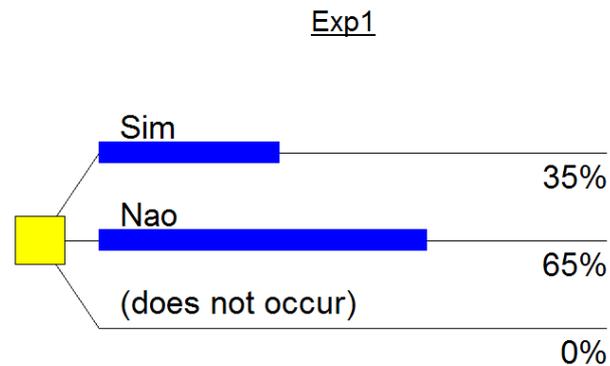


Figura 19 – Freqüência da decisão de expandir

Realizando análises de sensibilidade do investimento necessário para expandir o projeto e da volatilidade do preço do minério de ferro concluímos que a cada US\$1/t a mais de investimento a ser feito na época da expansão reduz-se aproximadamente US\$3 do valor da flexibilidade e que quanto maior a volatilidade, maior o valor do projeto.

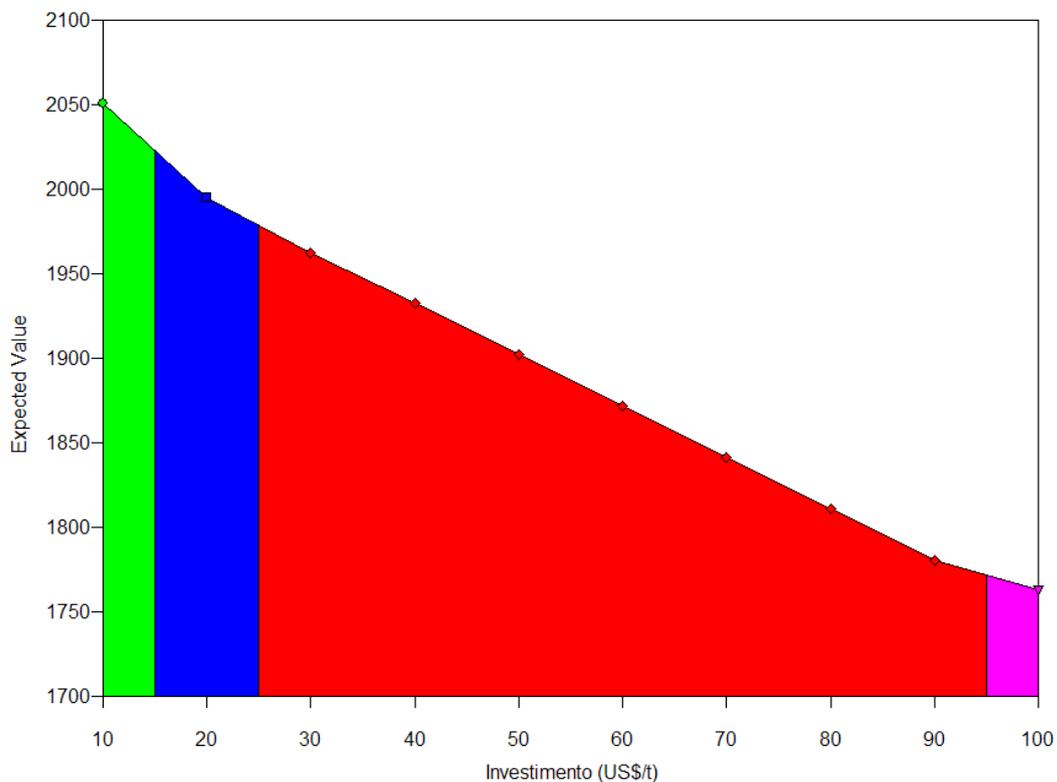


Figura 20 – Sensibilidade do investimento para expansão do projeto

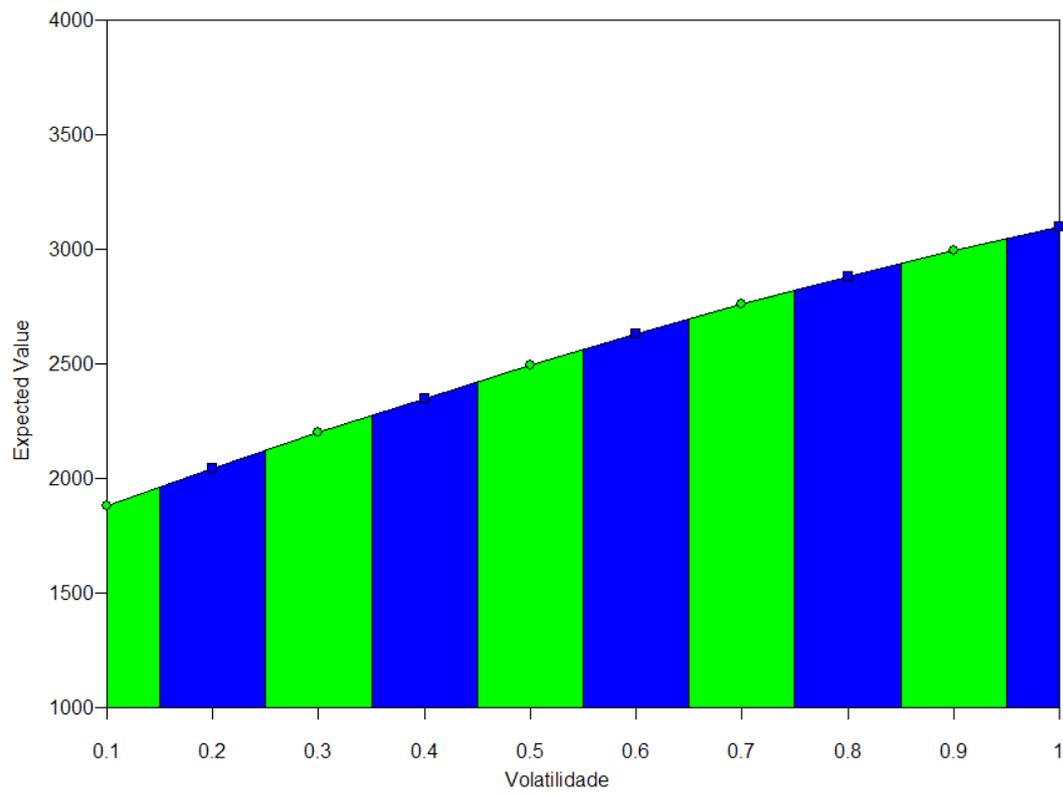


Figura 21 – Sensibilidade da volatilidade do preço do minério